# Costruisci il tuo LABORATORIO e pratica subito con L'ELETTRONICA

n. 28 - L. 12.900 - 6,66 euro

TEORIA

Semplificazione delle funzioni

CONTROLLO

Oscillatore con controllo digitale

AUDIO

Generatore sinusoidale da 800 Hz

Generatore di onda quadra e triangolare

DIGITALE

Generatore con larghezza d'impulso variabile

Circuito combinatorio semplificato (I)

Circuito combinatorio semplificato (II)

LABORATORIO

Consigli e trucchi (X)

*IN REGALO in questo fascicolo*

- 1 Circuito integrato LM324
- 4 Resistenze da 1K, 5%, 1/4 W
- 2 Resistenze da 220 K, 5%, 1/4 W
- 2 Resistenze da 1K2, 5%, 1/4 W
- 2 Resistenze da 100 K, 5%, 1/4 W

Peruzzo & C.

9 771129 409005 00028

COSTRUISCI CON NOI IL TUO LABORATORIO PER REALIZZARE 100 ESPERIMENTI

## NUOVO METODO PRATICO PROGRESSIVO

Direttore responsabile:
ALBERTO PERUZZO
Direttore Grandi Opere:
GIORGIO VERCELLINI
Direttore operativo:
VALENTINO LARGHI
Direttore tecnico:
ATTILIO BUCCHI
Consulenza tecnica e traduzioni:
CONSULCOMP s.a.s.
Pianificazione tecnica:
LEONARDO PITTON

Direzione, Redazione, Amministrazione: viale Ercole Marelli 165, 20099 Sesto San Giovanni (Mi). Pubblicazione settimanale. Registrazione del Tribunale di Monza n. 1423 dell'12/11/99. Spedizione in abbonamento postale, gr. II/70; autorizzazione delle Poste di Milano n. 163464 del 13/2/1963 Stampa: Europrint s.r.l., Zelo Buon Persico (LO). Distribuzione: SO.DI.P. S.p.a., Cinisello Balsamo (MI).




*LABORATORIO DI ELETTRONICA si compone di 52 fascicoli settimanali da collezionare in 2 raccoglitori*

### RICHIESTA DI NUMERI ARRETRATI

Se vi mancano dei fascicoli o dei raccoglitori per completare l'opera, e non li trovate presso il vostro edicolante, potrete riceverli a domicilio rivolgendovi direttamente alla casa editrice. Basterà compilare e spedire un bollettino di conto corrente postale a PERUZZO & C. s.r.l., Ufficio Arretrati, viale Marelli 165, 20099 Sesto San Giovanni (MI). Il nostro numero di c/c postale è 42980201. L'importo da versare sarà pari al prezzo dei fascicoli o dei raccoglitori richiesti, più le spese di spedizione (L. 3.000). Qualora il numero dei fascicoli o dei raccoglitori sia tale da superare il prezzo globale di L. 50.000 e non superiore a L. 100.000, l'invio avverrà per pacco assicurato e le spese di spedizione ammonteranno a L.11.000. La spesa sarà di L. 17.500 da L. 100.000 a L. 200.000; di L. 22.500 da L. 200.000 a L. 300.000; di L. 27.500 da L.300.000 a L. 400.000; di L. 30.000 da L. 400.000 in su. Attenzione: ai fascicoli arretrati, trascorse dodici settimane dalla loro distribuzione in edicola, viene applicato un sovrapprezzo di L.1.000, che andrà pertanto aggiunto all'importo da pagare. Non vengono effettuate spedizioni contrassegno. Gli arretrati di fascicoli e raccoglitori saranno disponibili per un anno dal completamento dell'opera.
IMPORTANTE: è assolutamente necessario specificare sul bollettino di c/c postale, nello spazio riservato alla causale del versamento, il titolo dell'opera nonché il numero dei fascicoli e dei raccoglitori che volete ricevere.

### AVVISO AGLI EDICOLANTI DELLA LOMBARDIA

Si informano gli edicolanti della Lombardia e delle zone limitrofe che, per richieste urgenti di fascicoli e raccoglitori delle nostre opere, possono rivolgersi direttamente al nostro magazzino arretrati, via Cerca 4, località Zoate, Tribiano (MI), previa telefonata al numero 02-90634178 o fax al numero 02-90634194 per accertare la disponibilità del materiale prima del ritiro.

# Costruisci il tuo LABORATORIO e pratica subito con L'ELETTRONICA

**Controlla i componenti IN REGALO in questo fascicolo**

1 Circuito integrato LM324
4 Resistenze da 1K, 5%, 1/4 W
2 Resistenze da 220 K, 5%, 1/4 W
2 Resistenze da 1K2, 5%, 1/4 W
2 Resistenze da 100 K, 5%, 1/4 W

**Anche con questo fascicolo continuiamo a fornire componenti per realizzare nuovi esperimenti.**

# Semplificazione delle funzioni

## È quasi sempre possibile semplificare un'equazione logica per ridurre il numero di componenti del circuito.

L'elettronica non è unita alla matematica anche se queste due scienze possono seguire percorsi paralleli; a qualcuno potrebbero sembrare strane le pagine seguenti, ma quando avrà studiato questi argomenti, si accorgerà di aver percorso già molto cammino. Ad ogni modo, si devono considerare sia la matematica che l'elettronica e grazie agli esperimenti proveremo la semplificazione delle funzioni.

Proprio come abbiamo visto in precedenza, partendo dalla tavola delle verità, possiamo ottenere delle espressioni logiche che daranno luogo a un circuito operativo, sempre che questo soddisfi le specifiche previste. Tuttavia, le espressioni canoniche possono – solitamente – essere semplificate per ottenere circuiti maggiormente semplici. È chiaro che, quanto più si semplificano queste espressioni, tanto più ridotti risulteranno i corrispondenti circuiti. Da qui l'interesse generale per la semplificazione delle funzioni.

### Un esempio

Possiamo verificare, grazie all'esempio, che circuiti con diversi livelli di complessità compiono la medesima funzione logica oppure, detto altrimenti, che ad essi corrisponde una stessa tavola delle verità.

I circuiti dell'illustrazione hanno differenti funzioni che, però, sono equivalenti e quindi hanno la medesima tavola delle verità. L'espressione canonica è più complessa rispetto alla precedente e ancora più complessa risulta l'espressione come prodotto delle somme. Tutte e due le espressioni, comunque, rappresentano la stessa funzione e sono, pertanto, equivalenti, proprio come lo saranno i corrispondenti circuiti. Le espressioni non canoniche semplificate sono una conseguenza dell'applicazione della semplificazione alle espressioni canoniche.

In generale, possiamo dire che una stessa funzione può essere rappresentata in diversi modi. Ovviamente, si devono porre le funzioni nella loro forma più semplice soprattutto perché con ciò si semplifica la realizzazione del circuito.

| C | B | A | S |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 0 |

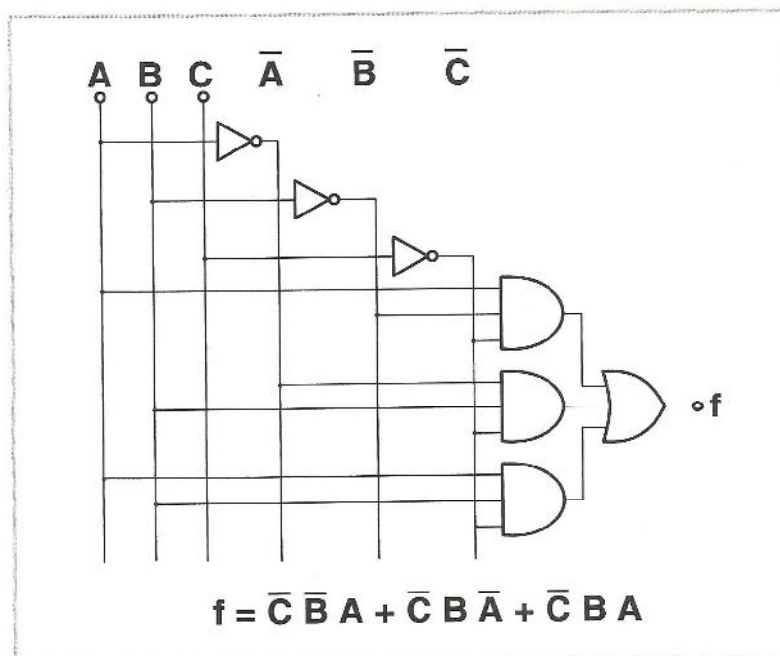
$f=\overline{C}\,\overline{B}A+\overline{C}B\overline{A}+\overline{C}BA$

*A partire dagli 'uno' della tavola delle verità, otteniamo la funzione logica.*

### Metodi di semplificazione

La semplificazione delle funzioni logiche può essere effettuata mediante diversi metodi, che sono:

1 - Metodo algebrico.
2 - Metodo grafico, tavole di Karnaugh.
3 - Metodo di Quine McCluskey.

Il metodo algebrico si basa sull'applicazione delle regole dell'algebra di Boole all'espressione da semplificare. È un metodo puramente matematico e, pertanto, non ordinato, la cui efficienza si deve alle conoscenze e all'esperienza che si possiede dell'algebra di Boole.

*Il circuito corrisponde all'equazione logica ottenuta dalla tavola.*

# Semplificazione delle funzioni

| C | B | A | C | A+B | f |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |

$$f = \overline{C}\,(A + B)$$

*L'equazione logica si riduce per semplificazione.*

Tra i differenti metodi di semplificazione, parleremo di quello delle tavole di Karnaugh per via del loro facile utilizzo, della loro efficacia e della popolarità, anche se si deve dire che a partire da più di quattro variabili comincia a perdere di interesse perché il suo procedimento diventa troppo laborioso.

Il metodo di Quine McClusky è ordinato, quindi è indicato per semplificare funzioni complicate con più di quattro variabili. Il suo procedimento d'applicazione è lungo e complesso, la metodologia di ordinamento lo rende adatto per essere realizzato mediante computer. Tuttavia, dobbiamo anche dire che la semplificazione di funzioni con più di quattro variabili è un'eventualità che si presenta raramente. Non tratteremo questo metodo a causa della sua complessità.

## Matematica logica

Le equazioni logiche sono formate da variabili che contengono molte delle proprietà più usuali della matematica convenzionale. Tra queste proprietà ci sono la proprietà commutativa, quella associativa e quella distributiva. Quest'ultima ha un valore aggiunto ed è quello che è rispetto alla somma e rispetto al prodotto.

## Regole logiche

Esiste una serie di regole logiche molto evidenti, ma che tuttavia ci possono sembrare a prima vista un poco incomprensibili. Da qui, familiarizziamo con le più usate, in modo che all'occorrenza ci saranno di grande aiuto quando dovremo cominciare a lavorare con le equazioni.

## Teoremi

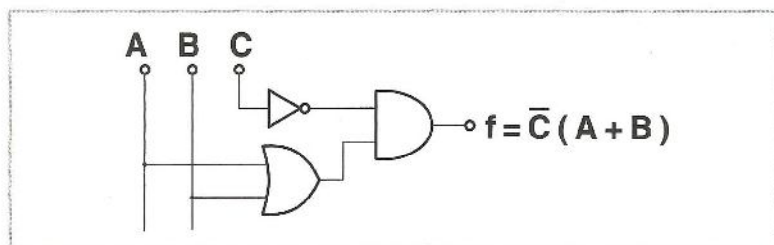
Di tutti i teoremi esistenti, meritano di essere menzionati soprattutto due, e uno lo abbiamo già menzionato prima: stiamo parlando del Teorema di Morgan o della ridondanza.

Morgan ci dice che se abbiamo un'inversione di due variabili (sommate o moltiplicate), eliminando l'inversione, il segno cambia, di modo che, se era una somma, diventerà un

*I due teoremi più importanti dell'algebra logica.*

# Semplificazione delle funzioni

| Regole AND | Regole OR |
|---|---|
| $A \cdot 0 = 0$ | $A + 0 = A$ |
| $A \cdot 1 = A$ | $A + 1 = 1$ |
| $A \cdot A = A$ | $A + A = A$ |
| $A \cdot \bar{A} = 0$ | $A + \bar{A} = 1$ |

*Per la semplificazione, esistono delle regole – utilissime – da seguire.*

*La riduzione dell'equazione implica anche la riduzione del circuito.*

prodotto, mentre se era un prodotto, passerà ad essere una somma. La stessa cosa succede se abbiamo le due variabili invertite sommate o moltiplicate e le invertiamo a due per volta: anche qui il segno cambia (vedi illustrazione).

Il Teorema della ridondanza implica che un'espressione logica – somma dei prodotti – di un prodotto che contenga tutti i fattori di un altro prodotto, è ridondante.

## Logica programmabile (PLD)

I dispositivi programmabili, come si può supporre, migliorano sempre più, giorno dopo giorno. Non c'è nessun freno per i ricercatori che fanno nascere nuove possibilità, tanto per fare un esempio, a questi dispositivi denominati "Logiche Programmabili", che possono essere progettati su misura dell'utente finale. Si tratta di matrici programmabili che altro non sono se non una rete di interconnessioni interne in cui può essere sviluppata una funzione logica.

Per riuscire ad avere un chip finale si deve seguire una serie di precedenti passaggi: innanzitutto, a partire dalla tavola delle verità, si dovrà ottenere la funzione logica da sviluppare; in seguito, detta funzione verrà semplificata e la si adatterà al dispositivo selezionato (porte OR o AND) e l'ultimo passaggio è la scrittura sul dispositivo logico e la sua verifica così da poter realizzare prima una protezione facoltativa.

## Vantaggi apportati dai PLD

Enumereremo alcuni dei più importanti vantaggi apportati dal-

**Legge commutativa**

$$A + B = B + A$$
$$A \cdot B = B \cdot A$$

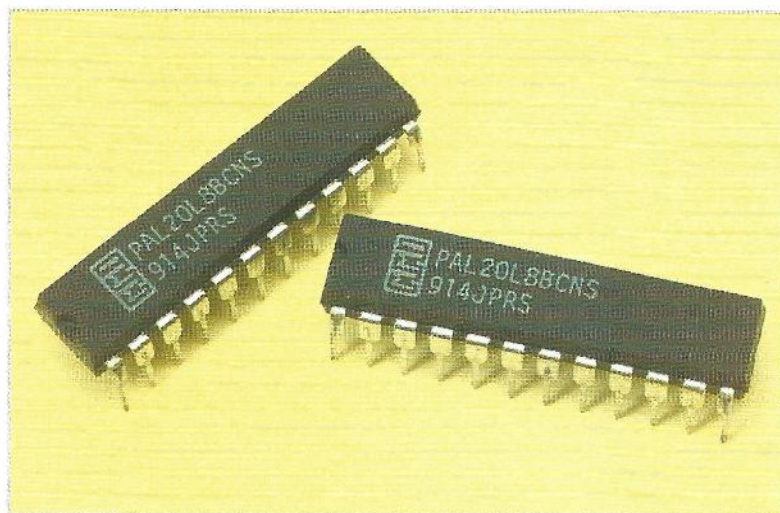
**Legge associativa**

$$A+B+C=A+(B+C)=(A+B)+C$$
$$A \cdot B \cdot C = A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C$$

**Legge distributiva**

$$A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$$
$$A+(B \cdot C)=(A+B)(A+C)$$

*Anche le proprietà matematiche sono applicabili alla logica.*

# Semplificazione delle funzioni

*L'aspetto di un dispositivo logico programmabile è il medesimo di quello di un normale integrato.*

l'utilizzo di questo tipo di tecnica:

***Facile progettazione:*** le interfacce necessarie, come i programmi, sono abbastanza facili da usare e non sono sempre necessariamente costose.

***Prestazioni:*** sono le medesime che un circuito logico convenzionale garantisce.

***Costo:*** malgrado l'inversione iniziale del costo sia del PLC che dei dispositivi di programmazione, il risparmio di spazio per quanto riguarda la piastra riduce sia il consumo che la spesa finale.

***Sicurezza e affidabilità:*** dato che il numero dei circuiti risulta ridotto, diminuisce anche il numero di guasti. Per quanto concerne la sicurezza, dispongono di un sistema che ne impedisce la lettura e quindi la copiatura.

## PLD: tipologie

Esistono vari tipi di dispositivi logici programmabili, tra cui andiamo ad enumerare:

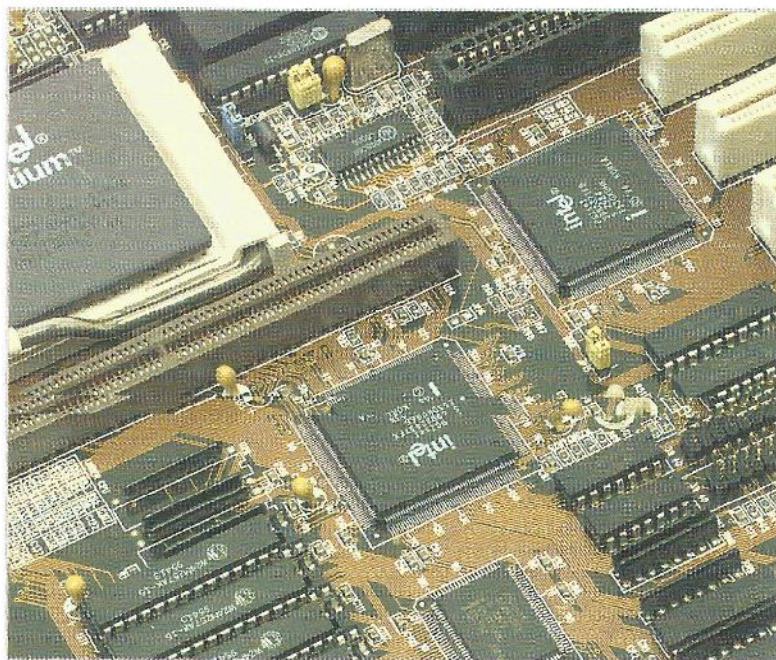
P.A.L.: è il più popolare tra tutti. È caratterizzato dal fatto che la matrice, costituita da porte AND, è programmabile, mentre le matrici basate su porte OR non sono programmabili.

G.A.L.: può essere cancellato mediante impulsi elettrici.

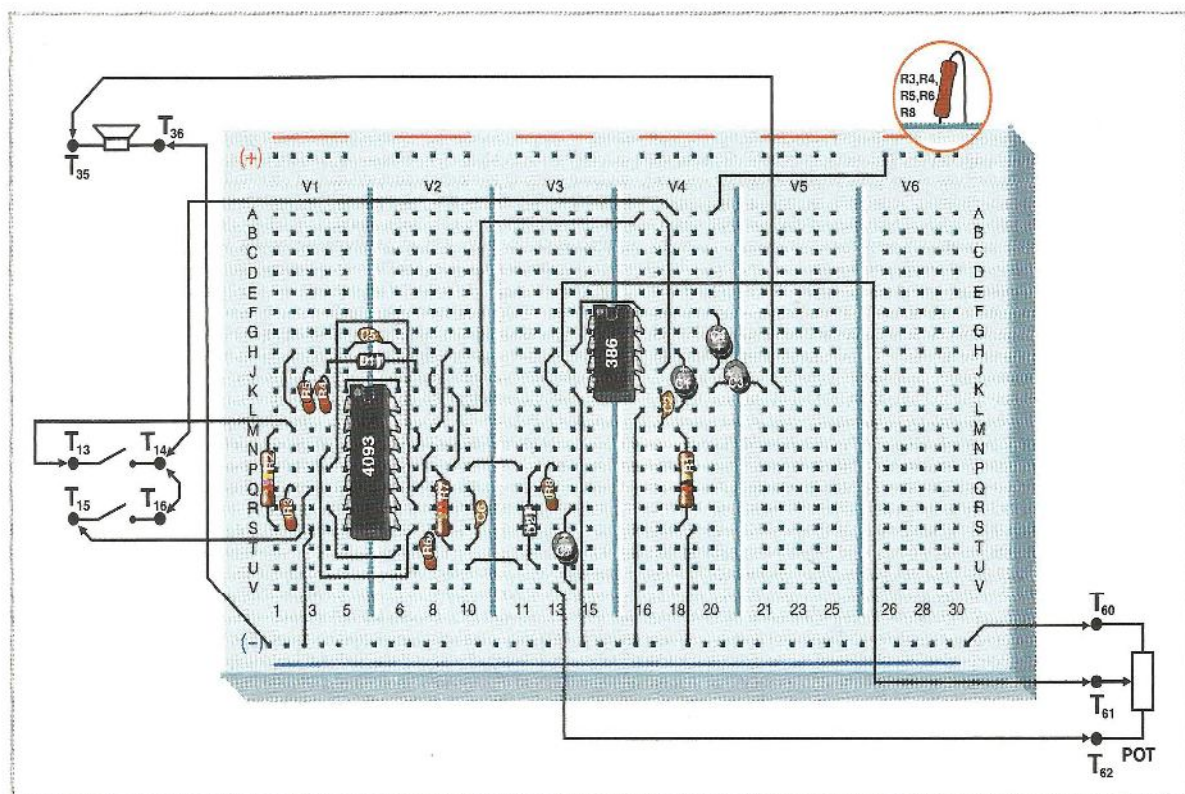
F.P.L.A.: in questo dispositivo sia la matrice costituita da porte AND che quella costituita da porte OR sono programmabili. Può incorporare transistor da utilizzarsi in caso di necessità.

## "Procedure" di progettazione

Arrivati a questo punto, vediamo quali sono le procedure da seguire per portare a termine un progetto logico secondo i nuovi passaggi che abbiamo visto finora:

1° - Compilazione della tavola delle verità.
2° - Ottenimento delle espressioni canoniche.
3° - Semplificare, se possibile, le suddette equazioni.
4° - Progettare il circuito relativo.
5° - Realizzare il circuito con i circuiti logici o implementare il circuito con un dispositivo PLA.

*Attraverso la conoscenza dei circuiti logici e delle espressioni matematiche, comprenderemo il funzionamento dei circuiti più complessi.*

# Oscillatore con controllo digitale

## La frequenza di uscita dipende dal livello logico di ogni entrata.

In questo oscillatore che genera un'onda quadra, la frequenza di uscita dipende dai livelli logici che sono presenti alle entrate delle porte A e B, con i pulsanti P7 e P8. In questo modo si possono avere quattro combinazioni differenti, una di esse (00), quella cioè senza agire sui pulsanti, è quella di riposo, mentre le altre tre danno origine a tre diverse frequenze.

## Il circuito

Nello schema possiamo osservare due parti chiaramente differenziate. Da una parte abbiamo l'oscillatore controllato e dall'altro lo stadio amplificatore di uscita. Le porte U2A e U2B corrispondono alla logica di controllo e sono direttamente collegate ai pulsanti P7 e/o P8.

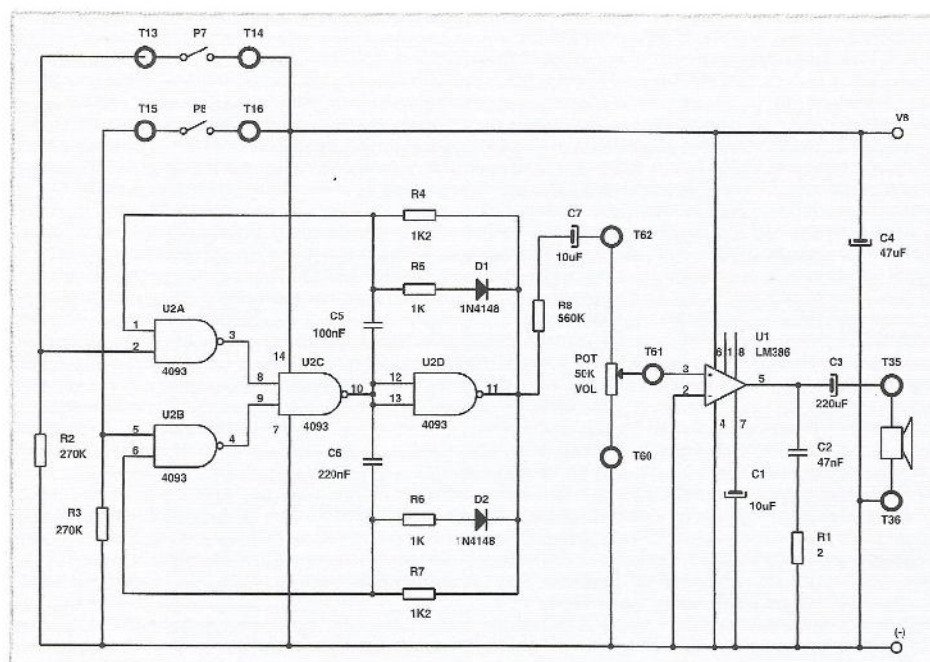
Da parte sua, l'oscillatore è costituito dalla porta U2D e in funzione del livello in uscita dalle porte U2A o U2B in corrispondenza all'azionamento dei pulsanti P7 e/o P8, le corrispondenti reti formate da R4-C5 o R7-C6 determinano la frequenza dell'uscita. Se tutte e due le entrate sono a livello alto, la frequenza di uscita ci dà un valore intermedio tra gli altri due. Utilizzando i componenti si ottengono delle frequenze di uscita di 1, 2,1 e 1,5 kHz. La rete formata da una resistenza posta in serie con un diodo, R5-D1 e R6-D2, assicura un ciclo di lavoro del 50%.

## Funzionamento

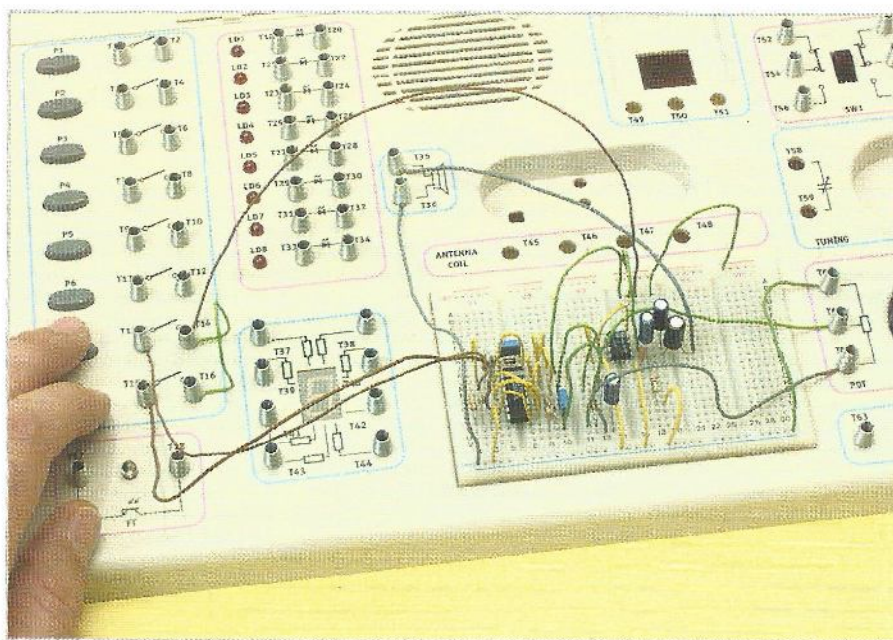
Quando si collega l'alimentazione al circuito, e senza premere nessuno dei due pulsanti, il circuito deve rimanere in stato di riposo. In questo stato l'oscillatore non funziona, per cui dall'altoparlante non si potrà ascoltare assolutamente nulla perché le porte U2A e B sono inibite avendo 0 in una delle entrate di modo che all'uscita ci sarà un '1' fisso. L'azionamento individuale o simultaneo di un pulsante qualsiasi – P7 o P8 – darà luogo alla generazione all'uscita di una frequenza, che si indica nella tavola.

*Controllo mediante livello logico*

Il circuito dispone anch'esso di un controllo del volume per regolare il livello di uscita dell'alto-

# Oscillatore con controllo digitale

| COMPONENTI | |
|---|---|
| R1 | 2 |
| R2, R3 | 270 K |
| R4, R7 | 1K2 |
| R5, R6 | 1K |
| R8 | 560 K |
| C1 | 10 µF |
| C2 | 47 nF |
| C3 | 220 µF |
| C4 | 47 µF |
| C5 | 100 nF |
| C6 | 220 nF |
| D1, D2 | 1N4148 |
| U1 | LM386 |
| U2 | 4093 |
| ALTOPARLANTE | |
| POTENZIOMETRO | |
| P7 e P8 | |

parlante. L'uscita del circuito può essere prelevata tra il terminale T62 e il terminale T60, a seconda del circuito su cui si dovrà applicare il segnale. Il livello di uscita è sufficiente per pilotare i circuiti della serie 4000, nel caso che il controllo del volume dell'amplificatore non sia necessario.

| P7 | P8 | USCITA |
|---|---|---|
| 0 | 0 | OFF |
| 0 | 0 | 1 KHz |
| 1 | 1 | 2,1 KHz |
| 1 | 1 | 1,5 KHz |

*La frequenza di uscita dipende dal livello logico di ogni entrata.*

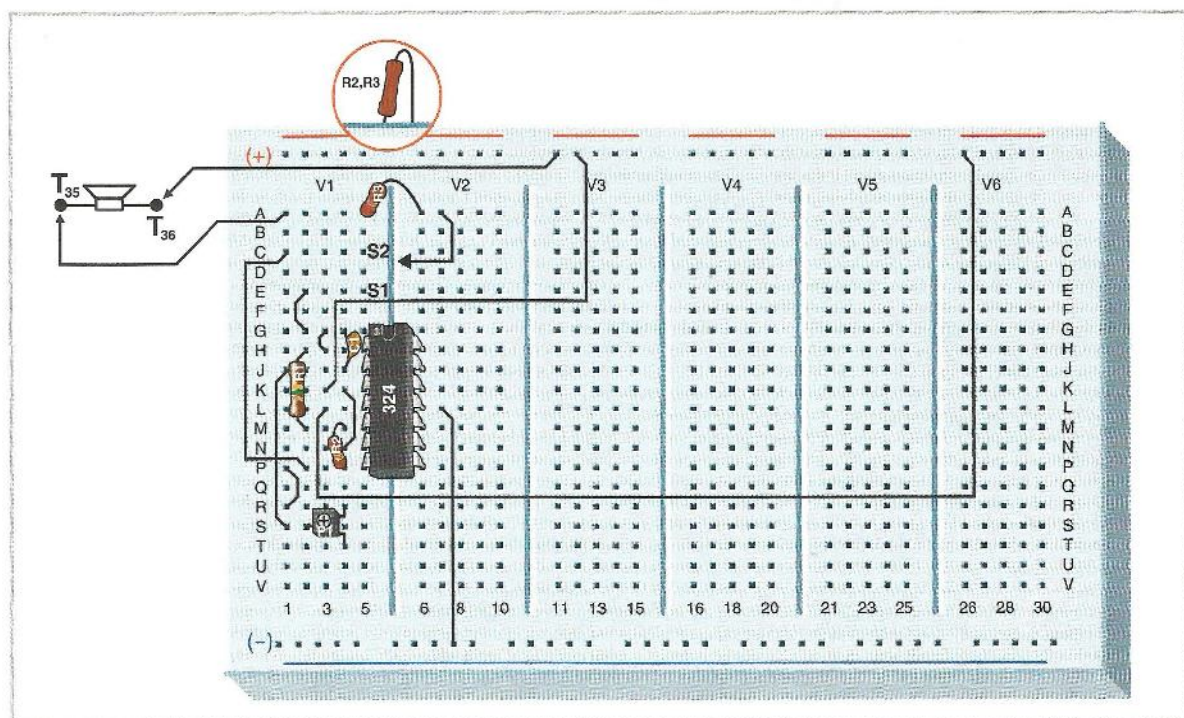
## Esperimenti

Si possono cambiare i valori di C5, C6 e le resistenze R4 e R7 che sono i componenti che determinano la frequenza di uscita, sostituendoli con altri.

Naturalmente, con l'azionamento di P7 e P8 avremo delle frequenze diverse da prima.

Possiamo sostituire anche i condensatori elettrolitici di accoppiamento C7 e C8 per variare l'intensità del segnale in uscita dall'altoparlante.

# Generatore di onda quadra e triangolare

## Generatore con due uscite: di onda triangolare e onda quadra.

Questo circuito è molto comune ed è realizzato con un piccolo numero di componenti. All'uscita S1 abbiamo un'onda triangolare e all'uscita S2 un'onda quadra.

Se l'altoparlante non carica eccessivamente l'uscita dei due amplificatori operazionali, si ottengono delle onde abbastanza perfette – possiamo vederle nelle fotografie dello schermo dell'oscilloscopio alla pagina seguente – misurando su questo circuito e mantenendo scollegato l'altoparlante.

L'altoparlante che si collega all'uscita ha lo scopo di verificare che il circuito sta funzionando, anche se, naturalmente si udiranno solamente le frequenze che il nostro orecchio è in grado di percepire.

## Il circuito

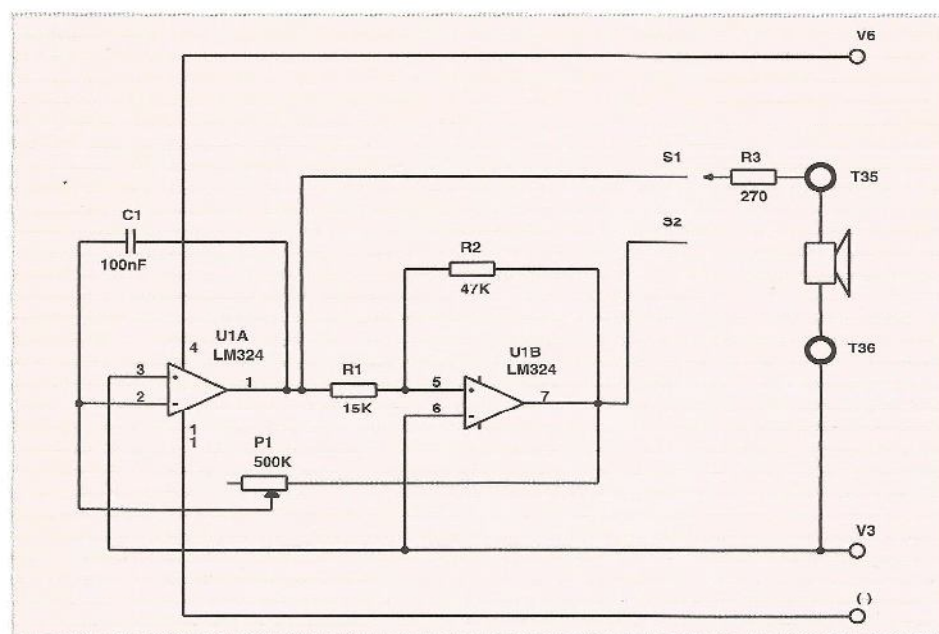
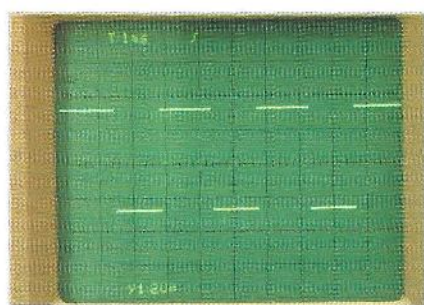
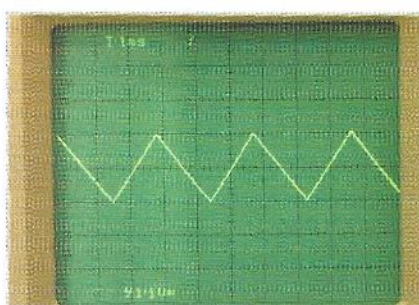
Il primo amplificatore operazionale, U1A, è un integratore. Il condensatore si carica attraverso la resistenza che si ottiene dalla regolazione del potenziometro P1: quanto maggiore è la resistenza, tanto più bassa sarà la frequenza, perché il condensatore impiega più tempo nel caricarsi. L'uscita di questo circuito è un'onda triangolare che attraverso una resistenza da 15K si applica ad un comparatore con isteresi, chiamato comunemente Trigger di Schmitt. L'entrata invertente di questo secondo operazionale è collegata a V3, che in questo caso è lo zero della tensione simmetrica, dato che V6 corrisponde a +4,5V e (-) a -4,5V.

Quando l'onda triangolare è ascendente e si supera il livello di comparazione, l'uscita passa a livello alto e si controalimenta all'entrata invertente del primo operazionale, e allo stesso tempo in cui si inverte la carica del condensatore e cambia la polarità dell'onda triangolare; quando si abbassa il livello dell'uscita, quest'ultima passa a un livello negativo e torna ad invertirsi la carica del condensatore e così via. L'uscita del secondo operazionale ha la medesima frequenza dell'onda triangolare, ma genera un'onda quadra che ha la sua ampiezza molto vicina alla tensione positiva e negativa di alimentazione.

*Ha due uscite simultanee*

## La verifica

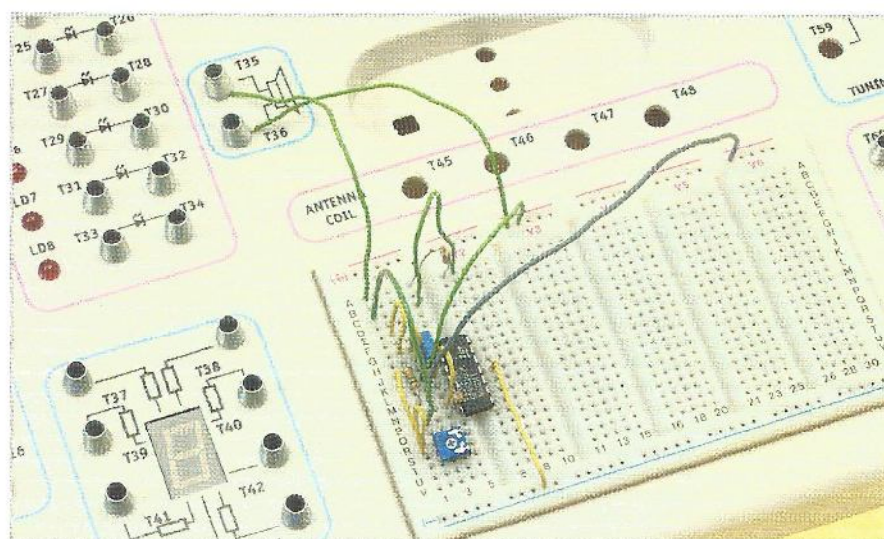
Questo circuito ha un funzionamento molto sicuro e non presenta problemi per il montaggio del circuito, è facile e basta sce-

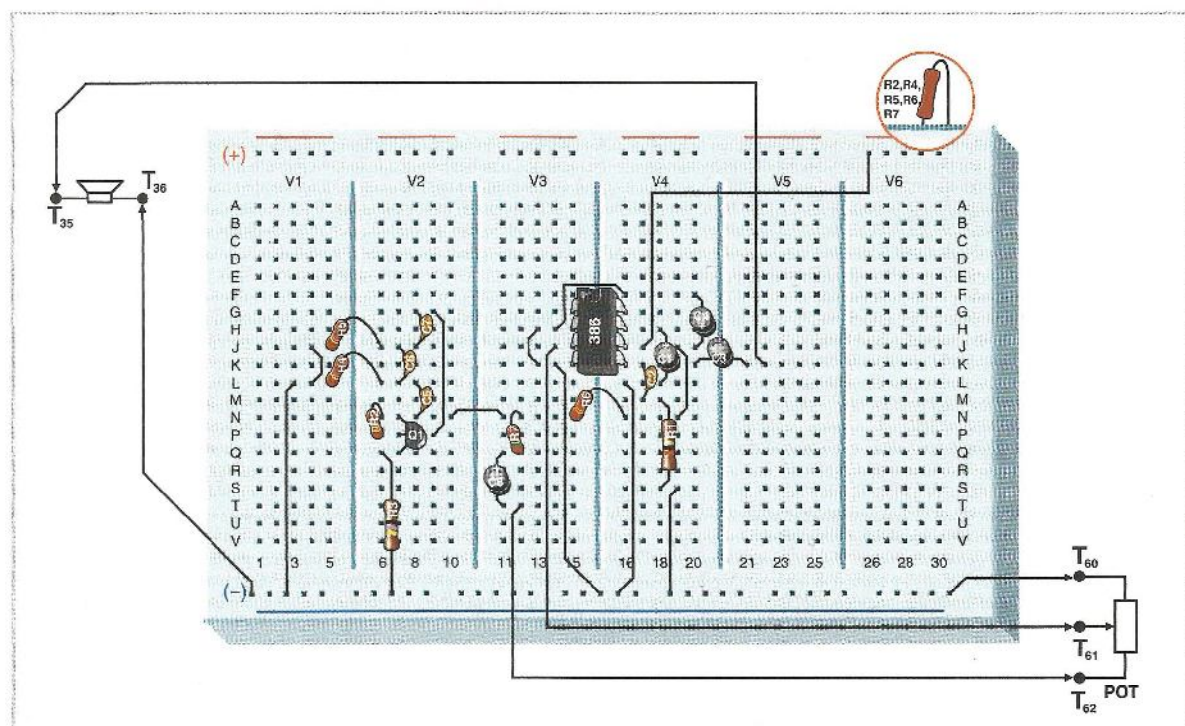
# Generatore di onda quadra e triangolare

| COMPONENTI | |
|---|---|
| R1 | 15 K |
| R2 | 47 K |
| R3 | 270 Ω |
| P1 | 500 K |
| C1 | 100 nF |
| U1 | LM324 |
| ALTOPARLANTE | |

*Onda quadra.*

*Onda triangolare.*

*Generatore di onda quadra e triangolare.*

gliere il componente raccomandato e collegarlo in modo adeguato.

## Varianti

Con i due valori indicati nello schema e nella lista dei componenti si ottiene una frequenza minima di 13 Hz e una massima di 11 kHz, misurati nel nostro montaggio attraverso i due estremi del potenziometro, anche se questi valori possono variare a causa della tolleranza dei componenti. Si raccomanda di sostituire il condensatore con un altro da 47 nF, di modo che si otterrà approssimativamente il doppio della frequenza per la medesima posizione del potenziometro.

# Generatore sinusoidale da 800 Hz

## E' un generatore ideale per verificare apparecchiature audio.

Questo circuito è un oscillatore a spostamento di fase che utilizza un solo transistor. È uno schema molto particolare per oscillatori sinusoidali a bassa frequenza e si utilizza fino a circa 50 kHz al massimo. L'uscita è un tono quasi puro che ha una bassa distorsione per quanto semplice possa essere il circuito. Ha uno stadio amplificatore e l'uscita viene prelevata tra il negativo del condensatore C3 e il negativo dell'alimentazione (-).

Può pilotare direttamente un altoparlante o qualunque circuito audio.

## Il circuito

Questo circuito inizia a funzionare quando incomicia a generare del rumore, e il segnale di uscita, presente sul collettore del transistor, si controalimenta attraverso la base dopo essere passato attraverso una rete sfasatrice formata da tre resistenze e da tre condensatori. In realtà, possiede tre stadi sfasatori, C5 e R4, C6 e R5 e C7 e la terza resistenza, che in realtà è l'impedenza d'entrata del transistor oppure detto altrimenti per gli esperti in materia, il parametro "hie". Questo circuito causa uno sfasamento di 180° esattamente alla frequenza di oscillazione. La resistenza R2 è la resistenza di polarizzazione della base, mentre R6 lo è del collettore e R7 attenua il segnale di uscita e C8 è per disaccoppiare la corrente continua per fare in modo che la polarizzazione del collettore non sia influenzata dalla resistenza R7 né dal potenziometro POT, né dalla tensione continua che è presente all'entrata dell'amplificatore operazionale.

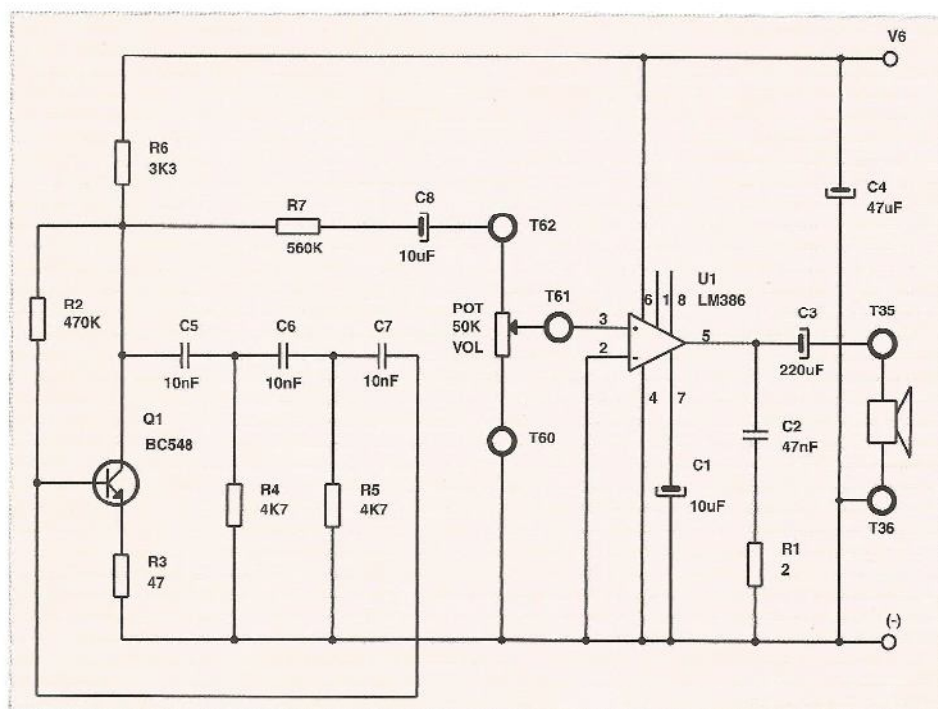
*L'uscita è un tono puro*

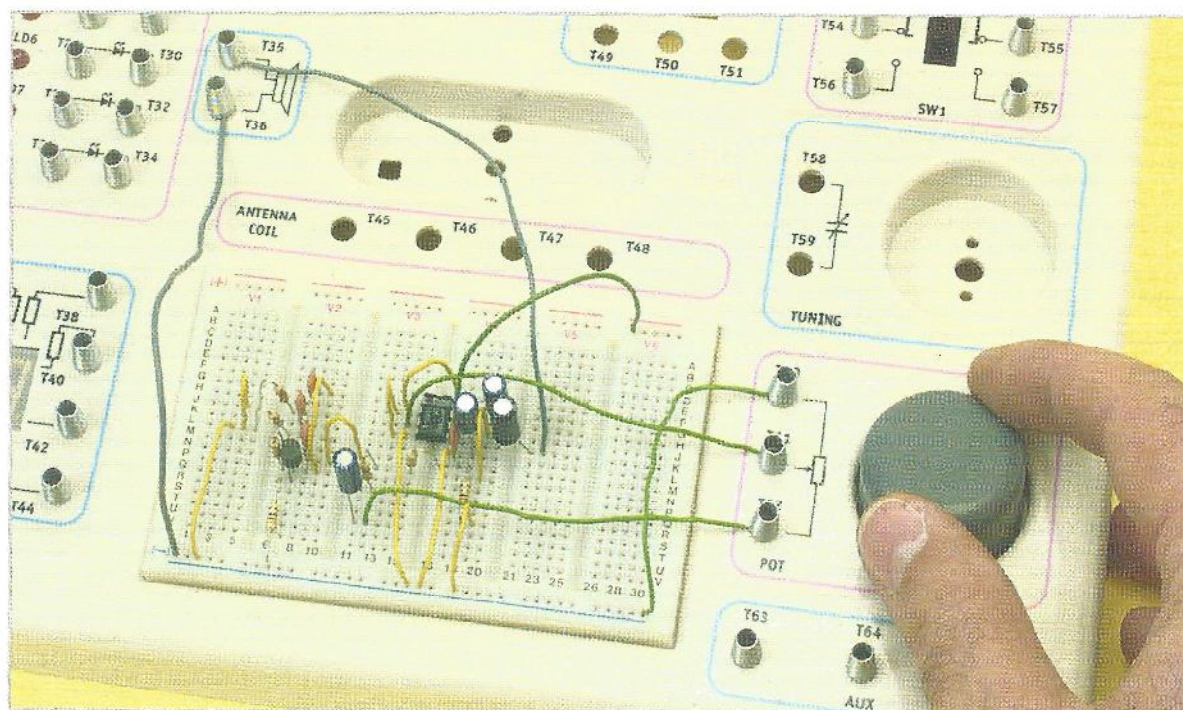
## La verifica

Questo circuito deve funzionare immediatamente dal momento dell'accensione, ma il suo funzionamento dipende dal guadagno del transistor e può essere che sia così basso da impedirgli l'oscillazione, in questo caso si può ridurre il valore della resistenza R3 o anche eliminarsi se fosse necessario sostituendola con un ponte di filo.

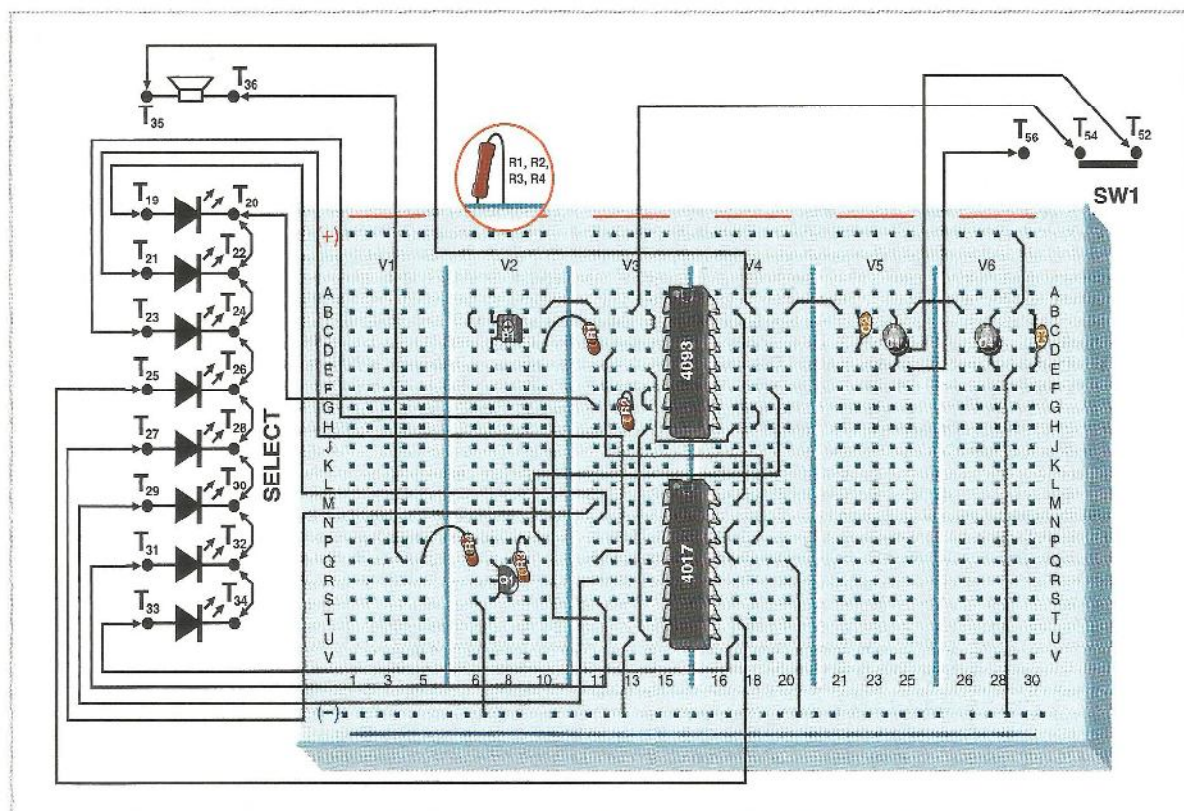
## Varianti

Si possono ottener altre frequenze cambiando il valore delle resistenze e dei condensatori che for-

# Generatore sinusoidale da 800 Hz

| COMPONENTI | |
|---|---|
| R1 | 2Ω |
| R2 | 470 K |
| R3 | 47 Ω |
| R4, R5 | 4K7 |
| R6 | 3K3 |
| R7 | 560 K |
| C1 | 10 µF |
| C2 | 47 nF |
| C3 | 220 µF |
| C4 | 47 µF |
| C5, C6, C7 | 10 nF |
| Q1 | BC548 |
| U1 | LM386 |
| POT | |
| ALTOPARLANTE | |

mano la rete di sfasamento, per esempio se si utilizzano condensatori da 100 nF si otterrà una frequenza di circa 80 Hz e se sono da 1 nF si otterranno circa 8 kHz. Queste frequenze possono variare leggermente a causa della tolleranza dei componenti.

*Generatore di tono 800 Hz.*

# Generatore con larghezza d'impulso variabile

## Senza variare la frequenza, è possibile modificare il ciclo di lavoro.

Con questo oscillatore, oltre a poter regolare la potenza, sempre mediante il potenziometro P1, possiamo regolare anche il ciclo di lavoro, il tempo in cui, cioè, il segnale sta a livello alto. Il ciclo di lavoro si controlla aggiungendo dei led di controllo, iniziando da J1.

## Funzionamento

A partire da una frequenza generata dal generatore a onda quadra collegato sulla porta NAND, si ottiene il segnale di uscita, la cui frequenza è sempre dieci volte minore rispetto a quella dell'oscillatore. Per visualizzare il segnale in uscita si deve realizzare un qualche ponte, da J1 a J8. Se non collegassimo questi punti con dei diodi (LED nel nostro caso), all'uscita (porte U1B e C) non avremmo nessun segnale. Ora, per poter cambiare il ciclo di lavoro, si devono aggiungere i LED che vanno da J1 a J8, lasciando collegati i LED precedenti e ottenendo un segnale di uscita in cui il ciclo di lavoro varierà dal 10% (con J1) all'80% (con tutti i LED collegati da J1 a J8). Possiamo prelevare il segnale risultante come normale, nell'uscita U1C, oppure invertito, nell'uscita U1B.

*Larghezze dell'impulso regolabile*

## Il circuito

Il circuito si può dividere in tre parti: il generatore, il contatore e lo stadio di uscita. Il generatore a onda quadra è costituito dalla porzione di integrato 4093 che è la porta U1A. Ha due livelli di lavoro che possiamo selezionare grazie al commutatore SW1. Se commutiamo C1, l'oscillatore permette un livello di lavoro che noi possiamo regolare, da 0,5 Hz a 40 Hz, attraverso il potenziometro P1. Se invece, commutiamo C2, l'oscillatore consente un livello di lavoro da 2,2 a 140 KHz. Applichiamo l'uscita dell'oscillatore al contatore 4017, che quando riceve dall'entrata del clock un impulso, attiva le sue uscite, una dopo l'altra. In questo modo, ogni ponte collocato aumenterà il livello alto del segnale dell'uscita. L'uscita normale è nella porta U1C, mentre l'uscita invertita la otterremo dalla porta U1B. In questo modo, oltre a

# Generatore con larghezza d'impulso variabile

| COMPONENTI | |
|---|---|
| R1 | 1K |
| R2 | 4K7 |
| R3 | 47 K |
| R4 | 100 Ω |
| P1 | 100 K |
| C1 | 22 µF |
| C2 | 4,7 nF |
| C3 | 100 nF |
| C4 | 47 µF |
| Q1 | BC548 |
| U1 | 4093 |
| LD1 a LD8 | |
| ALTOPARLANTE | |
| SW1 | |

poter variare la parte positiva del segnale d'uscita, prendendo l'uscita invertita, possiamo variare il livello basso. I diodi LED servono a isolare le diverse uscite di U2 quando si collegano i ponti. Inoltre, a seconda di come si illuminano, ci visualizzano la durata del segnale di uscita a livello alto, se usciamo attraverso U1C, o a livello basso, se usciamo attraverso U1B.

*Il commutatore consente di selezionare la banda di frequenza.*

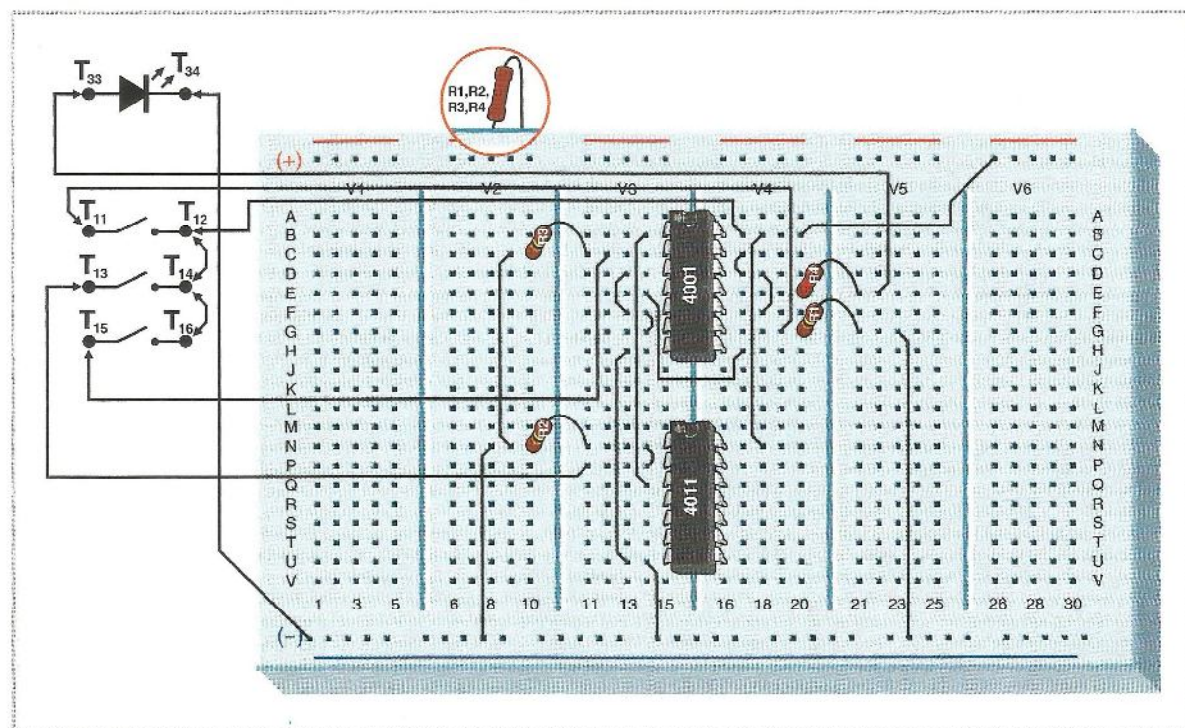
## Avviamento

Il circuito funzionerà, senza problemi, se si collega correttamente secondo lo schema. Una volta collegata l'alimentazione, e collegata l'uscita di U1B o U1C alla resistenza di base R3, l'altoparlante deve emettere un qualche tipo di rumore oppure di ronzio. Quando si seleziona C1, non emetterà ronzii, ma suoneranno come colpi, dato che la frequenza è bassissima.

## Esperimenti

Si possono fare diversi esperimenti con questo montaggio. Il primo è di cambiare la frequenza dell'oscillatore, per cui basta scegliere altri valori per i condensatori C1 o C2. Il transistor e l'altoparlante non formano parte del circuito, ma si utilizzano per verificare il funzionamento del circuito, quando la frequenza è elevata e l'occhio non riesce a seguire il lampeggiare dei LED.

# Circuito combinatorio semplificato (I)

## Semplificando, riduciamo considerevolmente le dimensioni del circuito.

Il circuito non è un'applicazione concreta, se non per il fatto che partiamo da un'equazione logica. Si tratta di verificare come a partire dalla medesima equazione logica, possiamo ottenere un circuito senza semplificare niente e un circuito semplificando quanto possibile e che i due circuiti hanno lo stesso funzionamento.

## Semplificazione

Per stimare realmente una semplificazione, oltre a paragonarlo con lo schema, dobbiamo anche confrontare il circuito reale, tale e quale esce implementato direttamente dall'equazione e come risulta semplificato. Normalmente, si utilizza quello semplificato, e anche se si riducono le porte, non si riducono le porte sufficienti a eliminare un circuito integrato completo, in molti casi può essere che non sia conveniente usare quello semplificato. Molti progettisti preferiscono lasciare il circuito tale e quale è, se non si riesce a ottenere una riduzione fisica di un integrato intero; il motivo è che l'enorme quantità di rumore che si genera fra le varie parte presenti nei circuiti integrati obbliga a porre le entrate non usate a massa o al positivo dell'alimentazione. In questo modo, se sono collegate formando parte del restante circuito, si eviterà il problema non effettuando la riduzione.

*Applicazione del teorema della ridondanza*

In questa equazione la semplificazione sembra vicina: basta applicare il teorema di ridondanza ai due termini che hanno la variabile 'A' (uno normale e l'altro invertito). Si riduce, così, il circuito a una semplice somma delle tre variabili.

## Il circuito

Come abbiamo detto, il circuito risponde a un'equazione logica che ha tre addendi che si possono implementare con porte NOR a due entrate. Pertanto, dobbiamo realizzare una porta OR a tre entrate a partire da porte NOR di due entrate, dato che sono necessarie tutte le porte di un integrato (U2A, U2B, U2C e U2D). Inoltre, è necessario invertire l'entrata B ed è quindi necessario un altro integrato U1 (4011). Se si osserva il montaggio senza semplificare, nel montaggio si utilizzano tutte le porte dell'integrato 4011, quindi la semplificazione ha ridotto tre porte, ma non ha eliminato nessun integrato.

# Circuito combinatorio semplificato (I)

| COMPONENTI | |
|---|---|
| R1,R2,R3 | 100 K |
| R4 | 2K2 |
| U1 | 4011 |
| U2 | 4001 |
| LD8 | |
| P6 a P8 | |

## Montaggio ideale

In questo caso, abbiamo montato il circuito con porte a due entrate; esiste sicuramente sul mercato un integrato NOR a tre entrate con il quale potremmo realizzare il circuito semplificato utilizzando un solo integrato che al suo interno possiede tre porte. Perciò, se ne useranno due come invertenti, uno per l'entrata B e un altro per la NOR che somma le tre variabili e le inverte.

## Avviamento

Una volta collegata l'alimentazione, possiamo realizzare una tavola teorica su un pezzo di carta e poi verificheremo la tavola sul circuito stesso. Il diodo LED LD8 deve funzionare, perché l'entrata B è invertita. Se non si illuminasse, scollegheremo l'alimentazione e verificheremo tutte le connessioni del circuito.

*Montaggio del circuito semplificato. In stato di riposo il diodo rimane illuminato.*

# Circuito combinatorio semplificato (II)

## La semplificazione riduce componenti e costi.

Anche in questa applicazione si parte da un'equazione logica. Si tratta di applicare varie proprietà e teoremi dell'algebra logica per semplificare per quanto possibile l'equazione logica, in modo che operativamente si raggiunga il medesimo risultato, ma con un minor numero di componenti.

### Semplificazione

Il primo passaggio da realizzare è applicare il teorema di Morgan sulla somma delle variabili invertite. In questo modo si convertirà la somma in prodotto. In seguito, togliamo la doppia inversione, dato che la variabile non cambia, rimanendo i due addendi (AB + ABC) a quelli che si possono avere come fattore comune nelle variabili A e B; l'equazione, cioè, risulta essere: AB(1 + C). Qualsiasi variabile sommata a 1 ci darà sempre 1 e moltiplicato per AB, ci darà sempre AB. In questo modo, si può vedere come applicando ordinatamente quello che si è imparato, si può realizzare la semplificazione di tutti i circuiti in maniera semplice. Queste tecniche di progetto si utilizzano da sempre e sono molte pratiche in un'infinità di situazioni, dato che non è ancora stato sviluppato nessun programma per computer che lo possa fare: dipende ancora tutto dalla perizia del progettista stesso.

*Si applicano la proprietà distributiva, la regola OR e il teorema di Morgan*

### Il circuito

Come si vede nel circuito originale c'è un'equazione logica che ha delle somme che si implementano con porte NOR a due entrate e prodotti che saranno messi in pratica con porte NAND. Per poter realizzare il montaggio di questo circuito sono necessari tre circuiti integrati. Nella semplificazione, tutto è ridotto solamente ad un integrato: dopo aver semplificato, ci rimane una semplice porta AND a due entrate. La sua realizzazione si porta a termine con le porte NAND, per cui saranno necessarie due porte, quella che realizza il prodotto, invertendo l'uscita e l'altra che funziona come invertente per ottenere un segnale pulito, invertendo l'uscita.

# Circuito combinatorio semplificato (II)

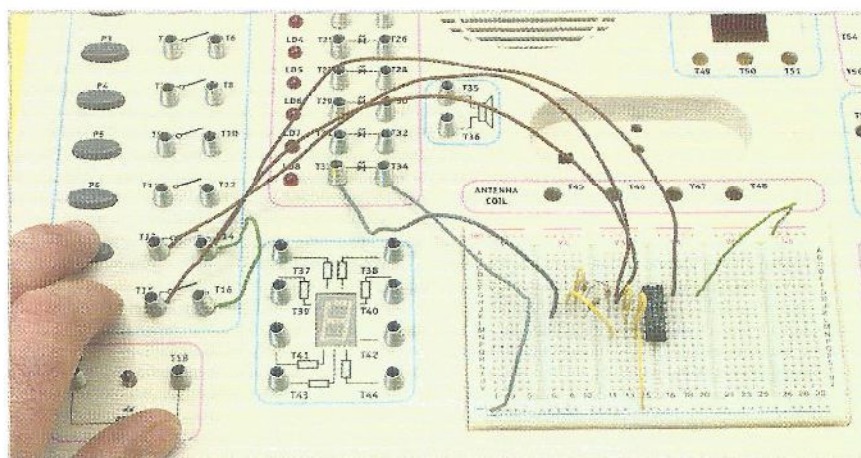
| COMPONENTI | |
|---|---|
| R1,R2 | 100 K |
| R3 | 2K2 |
| U1 | 4011 |
| LD8 | |
| P7 a P8 | |

$$S = A\cdot B+(\overline{\bar{A}+\bar{B}})C= AB+(\bar{\bar{A}}\cdot\bar{\bar{B}})\cdot C= A\cdot B+ABC= A\cdot B\ (1+C)= A\cdot B$$

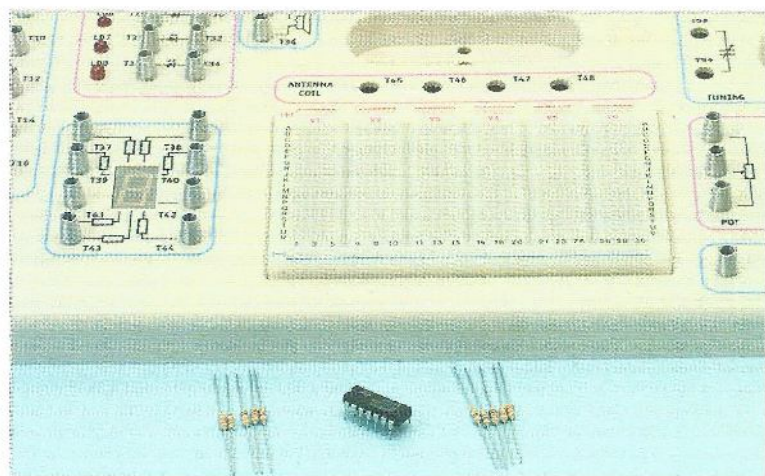
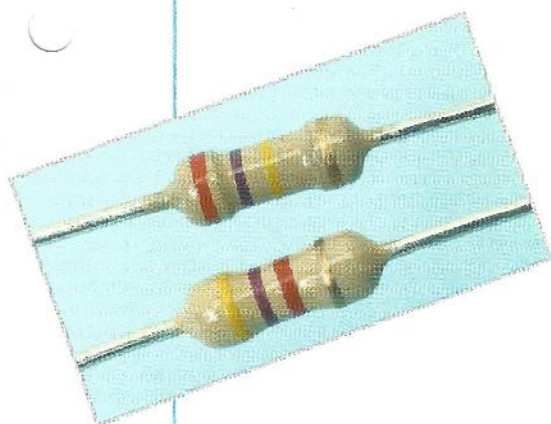
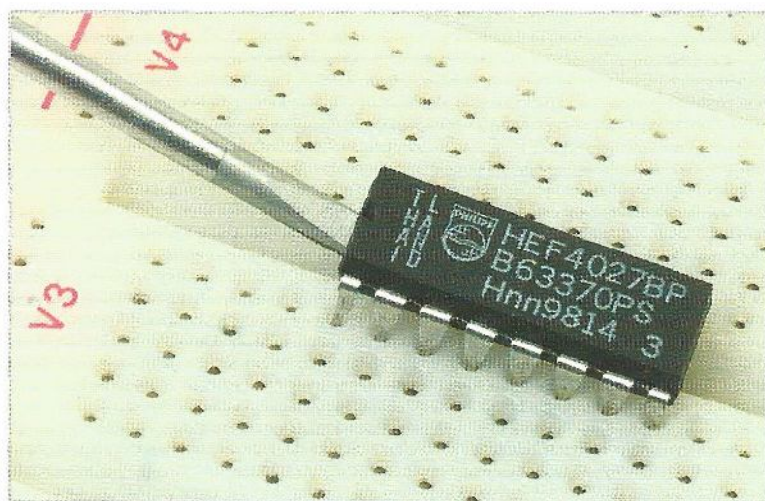
## Montaggio ideale

Si può considerare il montaggio come ideale perché anche se non è possibile semplificare il numero degli integrati, è però possibile semplificare quello delle porte; esistono infatti sul mercato degli integrati di porte AND a due entrate. Se ne utilizzassimo uno, tutto questo complicato circuito che implementa l'equazione risulterebbe ridotto a una sola porta. Ma, disponiamo solamente di porte NAND e dobbiamo utilizzarne una come invertente, come abbiamo spiegato.

## Avviamento

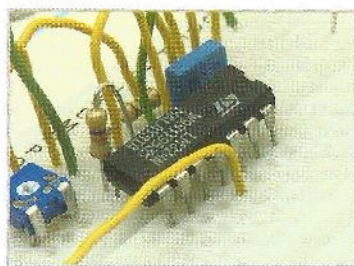
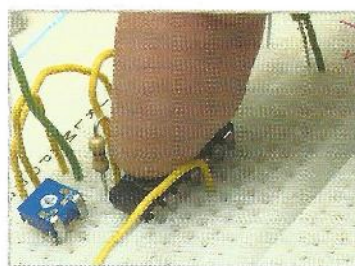
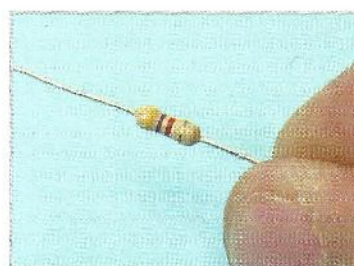
Una volta collegata l'alimentazione al circuito, il diodo non si deve illuminare salvo quando premiamo insieme i due pulsanti; se il diodo non dovesse illuminarsi nemmeno facendo così, spegneremo immediatamente l'alimentazione e verificheremo la polarità con cui sono stati collegati il diodo e l'integrato. Se dopo averli attentamente controllati non avessimo trovato nessuna anomalia, dovremo controllare la connessione dei pulsanti e del diodo LED.

*L'uscita risponde a una porta AND con due ingressi che è stata costruita con due porte NAND.*

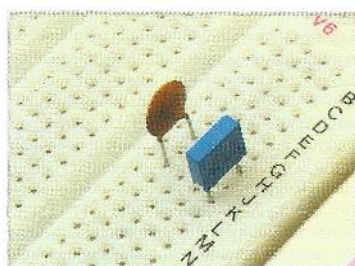
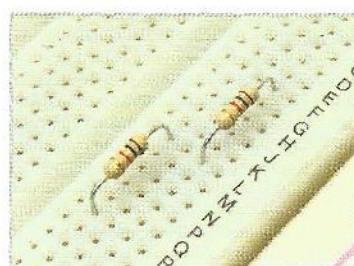
# Consigli e trucchi (X)

## A volte il circuito non funziona anche se apparentemente tutto è stato ben collegato e ogni componente è esatto.

1 Questo laboratorio può essere utilizzato anche da studenti giovanissimi che hanno scarse conoscenze elettroniche e che possono incontrare piccoli problemi di facile soluzione. Alcuni li abbiamo già menzionati e altri invece sono nuovi.

2 I circuiti integrati risultano ben fissati alla piastra dei prototipi dai suoi terminali; per toglierli dobbiamo tirarli da tutte e due i lati contemporaneamente, evitando di piegarne i terminali. È comodissimo far leva da tutti e due gli estremi con un cacciavite.

### Trucchi

Uno dei problemi più comuni che si incontrano quando si comincia a identificare le resistenze, è iniziare a contare le bande di colore dal lato sbagliato. Si deve considerare come prima banda quella più lontana dalla banda di tolleranza, che per resistenze del 5% è di color oro. Potete vedere nell'illustrazione a lato che una resistenza da 4K7 ha le stesse bande di una da 270K, ma in ordine inverso.

# Consigli e trucchi (X)

3 Quando non si esercita sufficiente pressione sul circuito integrato può succedere che i suoi terminali non facciano contatto con la piastra dei prototipi o che quest'ultimo risulti inadeguato.

4 Il circuito integrato si inserisce spingendo con un dito, ma prima ci si deve assicurare che i loro terminali siano diritti e ben allineati ai fori della piastra.

5 Resistenza da 4K7, collocata ordinatamente così da poterne leggere il codice: giallo (4), viola (7) e rosso (00), in totale 4.700, cioè 4K7. La rimanente frangia color oro indica che la tolleranza è del 5%.

6 La distribuzione della piastra facilita la connessione in parallelo delle resistenze; la resistenza diminuisce. Nel caso ci fossero tre resistenze da 1K in parallelo si otterrebbe una resistenza da 333 Ω.

7 Al contrario di quanto avveniva per le resistenze, la capacità risultante dei condensatori collegati in parallelo è la somma delle capacità individuali.

8 La resistenza di due o più resistenze collegate in serie è la somma delle resistenze.

9 All'inizio si deve tenere a portata di mano la tavola dei colori; vi renderete però conto che la memorizzerete facilmente, senza quasi rendervene conto.